

# Hodnocení bakalářské práce vedoucím

Student: František Nekovář  
Vedoucí: Ing. Zdeněk Hurák, Ph.D.  
Datum: 13.06.2016

---

Cílem bakalářské práce Františka Nekováře bylo pro konkrétní jím zvolenou experimentální platformu magnetické levitace implementovat číslicový regulátor na jím zvoleném mikrokontroléru řady TI C2000. Motivací byla možnost předvádět daný výukový experiment i bez použití PC vybaveného drahou převodníkovou kartou.

Konstatuji, že **cíl práce se podařilo naplnit** – výstupem práce je regulátor implementovaný na mikrokontroléru. Funkčnost řešení byla prokázána v laboratorním experimentu.

Přesto však mám k práci několik výhrad:

Jakkoliv jsem sám studenta odrazoval od umělého prodlužování textu, **odevdaný text je stručný až příliš**. Vždyť kromě úvodních dvou kapitol, které rekapituluji zadání, popisují systém a uvádějí matematický model (poskytovaný výrobcem v manuálu), zbývá na dokumentaci odvedené kreativní práce právě 5 listů papíru, tedy 10 stran textu.

A tak na třech listech (v kapitole 3 a první části kapitoly 4) je popsána navržená elektronika pro realizaci rozhraní mezi mikrokontrolérem a experimentem. Z toho je polovina věnována popisu poměrně standardního až triviálního přepočtu změřeného napětí na levitační výšku. Na popis velmi důležitého rozhodnutí realizovat vlastní převodník z PWM napěťového signálu generovaného mikrokontrolérem na analogový napěťový signál, který se použije coby vstup do experimentální platformy, pak zůstávají 3 strany textu. Na popis regulátoru pro magnetickou levitaci zůstává jedna strana textu a jedna strana obrázků. Na popis experimentů zůstává půl strany textu a jeden a půl strany obrázků.

Přítom v práci bylo co dokumentovat. Například:

1. V sekci 3.2.2 není zdůvodněno, proč byl pro vyhlazení vygenerovaného PWM napěťového signálu použit filtr právě prvního řádu (RC článek) a právě s těmito hodnotami parametrů. Jistě by bylo vhodné vykreslit jak jeho frekvenční charakteristiky, tak i odezvu takového filtru v časové oblasti pro pár hodnot činitele plnění PWM signálu. Ono by se totiž ukázalo (a vlastně se to následně ukazuje v Obr. 4.2), že je zvlnění signálu nepřijatelně velké (cca 30%), a že by bylo nutné použít snížit šířku pásma filtru nebo použít filtr vyššího řádu.
2. V Sekci 4.1 autor zmiňuje nutnost zavedení zpětné vazby v jeho převodníku z PWM na analog, a to v důsledku nestálé amplitudy PWM signálu generovaného mikrokontrolérem. Samotný regulátor ale popisuje jen v pár řádcích na straně 13, přičemž není zřejmé, jak byl tento navržen.
3. V Sekci 4.2 student pouze stručně konstatuje, že lineární metody implementované v Control System Toolboxu nebyly „použitelné“ pro návrh regulátoru pro magnetickou levitaci. Neupřesňuje však detaily takových návrhů a důvody selhání.
4. Nakonec je ve stejné sekci (a na stejné straně 15) uveden návrh PID regulátoru založeného na zpětnovazební linearizaci. Jsou zde pouze uvedeny konstanty navrženého PID regulátoru. Není ale opět nijak vysvětleno, jak byly tyto konstanty získány.
5. V části věnované generování analogového signálu mohlo být diskutováno, proč byla zvolena cesta vývoje vlastního převodníku z PWM na analogový signál. I kdyby bylo nutno setrvat u zadaného mikrokontroléru TI C2000, který nemá DA převodník, zcela jistě bylo možno použít některý z velké nabídky externích DA převodníků, a to ať už s rozhraním I2C, SPI

nebo i přímo pracující s PWM signálem. Argument o složitosti či snad nákladnosti takového řešení jistě neobstojí vzhledem k zamýšlenému účelu – prezentování komerčního produktu za nemálo desítek tisíc Kč. Samozřejmě mohl být celý problém vyřešen i volbou jiného mikrokontroléru. Ačkoliv ten typ mikrokontroléru byl v zadání výslovně uveden, odráží počáteční volbu studenta. Jistě existují jiné mikrokontroléry, pro které rovněž existuje podpora pro generování kódu ze Simulinku, a které disponují DA převodníkem. Důkladnější obhajoba této volby v práci chybí.

Další drobné komentáře (**není vhodné číst u obhajoby**)

- V práci se objevují překlepy, což je v době automatických „spellcheckerů“ zbytečné: množství, ...
- V obrázku 3.1 je uvedena hodnota  $C1=47\text{nF}$  zatímco v textu na straně 12 je zmiňována kapacita 47pF. Která tedy platí?
- Kdykoliv se do textu vloží nějaký obrázek či tabulka, je nutné v textu explicitně vysvětlit, proč se tam takový vstup objevil. Tedy je nutné se na obrázek explicitně odkázat. Například u obrázku 3.1 takový odkaz v textu nikde nenalézám. Až z kontextu lze porozumět, že v textu v odstavci 3.2.2 je na obrázek nepřímě odkazováno („PWM signál je veden přes výstupní pin mikrokontroléru GPIO 0 do sledovače napětí...“), ale přímo to autorem potvrzeno není.
- V textu na straně 12 je použit obrat „10 bitů přesnosti“. Doporučuji nastudovat pojem „rozlišení“.
- Studentem v samotném závěru zmiňované použití externího spínače (H-můstku) v této situaci vlastně ani použitelné není, jelikož proudová smyčka je již uzavřena a referenční hodnota proudu je té proudové smyčce komunikována právě pomocí analogového napětí.
- V práci není vůbec okomentováno, že platforma poskytuje ve skutečnosti dva měřené výstupy. Kromě levitační výšky kuličky, která je v práci uvažována, je měřen i proud protékající vinutím cívky. Bylo by tak možné provést i identifikaci dynamiky té uzavřené proudové smyčky, a ověřit tak platnost v manuálu uváděného modelu prvního řádu s časovou konstantou v řádu desítek mikrosekund.

Předloženou práci vnímám jako dobrou (nikoliv však výbornou či velmi dobrou), a tedy ji hodnotím **DOBŘE (C)**.

## Oponentský posudek bakalářské práce

Autor: František Nekovář

Název: Návrh řízení experimentu pro magnetickou levitaci pomocí mikrokontroléru

Oponentský posudek vypracoval: Ing. Martin Hlinovský, Ph.D.

Pracoviště: katedra řídicí techniky K13135

Cílem bakalářské práce Františka Nekováře s názvem „Návrh řízení experimentu pro magnetickou levitaci pomocí mikrokontroléru“ bylo vytvořit matematický model experimentální platformy pro demonstraci magnetické levitace a měřením určit fyzikální parametry daného systému. Následně pak zvolit vhodnou strukturu regulátoru a daný regulátor navrhnout a v simulacích ověřit. Navržený regulátor implementovat na mikrokontroléru řady TI C2000 a ověřit funkčnost regulátoru pomocí experimentů.

Ve druhé kapitole je velice stručně popsán model experimentální platformy. Osobně bych si představoval obsáhlejší popis včetně obrázků (viz např. bakalářská práce Michala Semelky „MODEL SOUSTAVY HUMUSOFT CE152“ z Univerzity Pardubice nebo diplomová práce Radka Pelikána „magnetická levitace – modelování, simulace a řízení“ z Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, kde již model CE152 byl podrobně popsán) a to i vzhledem k tomu, že tyto informace jsou v originálním manuálu modelu CE152.

V následující kapitole je vysvětlen obvodový návrh propojení mezi vlastním modelem CE152 a uvažovaným kitem s mikrokontrolérem od firmy Texas Instruments. Přijde mi zde naprosto zbytečné podrobné vysvětlení jednoduchého schématu A/D a D/A převodníku. V elektrickém obvodu má být použit DC-DC měnič, ale ve schématu jsem ho nenašel? Naopak zde postrádám např. informaci, proč byl zvolen u A/D převodníku právě dolnofrekvenční filtr prvního řádu. Co zde však naprosto postrádám, je jakákoliv zmínka o vlastní realizaci tohoto zapojení (návrh plošného spoje, osazení, oživení). V celé bakalářské práci není jediná fotografie praktické realizace!

V poslední čtvrté kapitole je popsána implementace na mikrokontroléru a řízení. Chybí mi zde jasné vysvětlení, že řízení bylo navrženo v Simulinku a následně pomocí Code Composeru studia 3.3. převedeno do kitu s mikrokontrolérem F28335. Proč zde není popsán tento kit, proč zde není pro představu jeho fotografie. V bakalářské práci je uvedeno několik jednoduchých experimentů na platformě, avšak chybí zde od začátku vysvětlení, co bylo cílem této bakalářské práce použitím mikrokontroléru?

Kromě výše uvedených otázek bych měl ještě jednu doplňující: Je jednodušší regulovat polohu kuličky v dolních nebo horních polohách?

Pan Nekovář pravděpodobně splnil zadání bakalářské práce, jejímž cílem domnívám se bylo využít kit s mikrokontrolérem od firmy Texas Instruments pro řízení výukového modelu CE152 magnetické levitace na veletrzích bez nutnosti použití PC. Vlastní bakalářská práce je však velice stručná a nelze v ní najít informace o vlastní realizaci. Žádám pana Nekováře, aby během obhajoby předvedl komisi funkční realizaci a v případě splnění této podmínky navrhuji bakalářskou práci hodnotit klasifikačním stupněm ECTS E (DOSTATEČNĚ).

V Praze 16.6.2016